



DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE E TECNOLOGIE AGRARIE

CURRICULUM: VITICOLTURA ED ENOLOGIA

**MICROIRRIGAZIONE DELLA VITE
NELL'AREA DOC PICENA: RISULTATI
SUL PECORINO**

**VINE MICRO-IRRIGATION IN THE PICENO
DOC AREA: RESULTS ON PECORINO**

TIPO TESI: Sperimentale

Studente:
VITTORIO DE IURE

Relatore:
PROF.SSA VANIA LANARI

Correlatore:
DOTT. LUCA PALLOTTI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Alla mia famiglia che mi ha sempre sostenuto.
A tutti gli amici e coloro che mi sono stati affianco.

SOMMARIO

ELENCO DELLE TABELLE.....	5
ELENCO DELLE FIGURE	6
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI	8
INTRODUZIONE	9
1. CAMBIAMENTO CLIMATICO IN ITALIA	10
2. IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA VITICOLTURA	12
3. STRATEGIE INNOVATIVE PER MITIGARE GLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN VITICOLTURA	15
3.1 MICRO-IRRIGAZIONE IN VITICOLTURA.	21
SCOPO DELLA TESI.....	24
4. MATERIALI E METODI	25
4.1 IL VIGNETO	25
4.2 CULTIVAR IN ESAME.....	28
4.3 RILIEVI EFFETTUATI	30
4.3.1 Rilievi Fisiologici.	30
4.3.2 Rilievi sullo stato idrico.....	31
4.4 RILIEVI PRODUTTIVI E QUALITATIVI.....	32
4.5 DATI TERMOPLUVIOMETRICI.....	32
5. RISULTATI E DISCUSSIONE.....	33
5.1 Temperature	33
5.2 Precipitazioni	35
5.3 FOTOSINTESI E CONDUTTANZA STOMATICA	36
5.3 POTENZIALE IDRICO	39
5.4 PRODUZIONE PENDENTE	41
5.5 COMPOSIZIONE DELLE UVE ALLA VENDEMMIA.....	41

CONCLUSIONI	43
BIBLIOGRAFIA	45
SITOGRAFIA	48

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1. Variazione della temperatura media in Italia (fonte: Harris et al., 2020).....	10
Tabella 2. Variazione della temperatura media da aprile a ottobre in Italia (fonte: Harris et al., 2020).	10
Tabella 3. Sintesi di alcuni studi effettuati in Italia sugli effetti del cambiamento climatico in viticoltura (Fonte: Droulia e Charalampopoulos, 2022)	14
Tabella 4. Fattori da considerare nella scelta di un sistema di irrigazione (limitazioni dei sistemi) (Fonte: Schwankl et al, 1995).....	19
Tabella 5. Giorni con T max > 30°C e >35°C anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).....	34
Tabella 6. Notti tropicali (T min>20°C) anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).	34
Tabella 7. Gradi giorno (Indice di Amerine-Winkler) cumulati mensilmente anno 2024, registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).	34
Tabella 8. Dati e tasso di variazione (ΔP_n) della fotosintesi netta delle viti Pecorino tra controllo e irriguo.....	36
Tabella 9. Dati e tasso di variazione della conduttanza stomatica (Δg_s) delle viti Pecorino tra controllo e irriguo.....	37
Tabella 10. Dati e tasso di variazione del potenziale idrico fogliare ($\Delta \psi_l$) delle viti Pecorino tra irriguo e controllo.	40
Tabella 11. Produzione e parametri produttivi delle viti di Pecorino irrigate e asciutte nell'anno 2024.....	41
Tabella 12. Parametri compositivi delle uve alla vendemmia nelle viti di Pecorino irrigate e asciutte nell'anno 2024.	42

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Andamento pluviometrico annuali in Italia dal 1800 al 2016, con media di riferimento 1971-2000 (fonte: Brunetti e Maugeri, 2018).	11
Figura 2. Condizioni di stress idrico in prossimità della vendemmia, con foglie basali ingiallite. (http://www.viten.net/tags/stress-idrico)	14
Figura 3. Reti schermanti (Fonte: agronotizie.imagelinenetwork.com).....	16
Figura 4. Viti di Ortrugo trattate con caolino (sinistra) e non trattate (destra), agosto 2020 (Fonte: agronotizie.imagelinenetwork.com)	16
Figura 5. Infiltrazione dell'acqua in condizioni std (Fonte: Schwankl et al, 1995).....	20
Figura 6. Impianto di micro-irrigazione a goccia su vigneto (Fonte: https://www.acquafertagri.it/irrigazione-agricola/microirrigazione-a-goccia/)	23
Figura 7. Azienda agricola “La Navicella”, in evidenza i filari del vigneto interessati con punto d’ingresso indicato dalla freccia. (Fonte: www.googlemaps.com).....	26
Figura 8. Schema dei filari presi in esame e relative viti evidenziate oggetto della sperimentazione	27
Figura 9. Grappolo cv. Pecorino (Fonte: www.vivairauscedo.com).....	29
Figura 10. LCA-3 sistema portatile, analizzatore di gas ad infrarosso (ADC) e camera fogliare di tipo Parkinson.	30
Figura 11. Camera a pressione (PMS Instrument Co., Albany).....	31
Figura 12. Andamento delle temperature (°C) minime, medie e massime mensili da gennaio ad agosto 2024 registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).	33

Figura 13. Precipitazioni cumulate settimanalmente anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (cod. sensore 3017).....	35
Figura 14. Precipitazioni cumulate mensilmente anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (cod. sensore 3017)	36
Figura 15. Andamento Pn viti Pecorino confrontati tra irriguo e controllo (Fonte: ns elaborazione) La freccia indica il momento irriguo.....	37
Figura 16. Andamento conduttanza stomatica viti Pecorino confrontati tra irriguo e controllo. La freccia indica il momento irriguo.....	38

ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
CO ₂	Diossido di carbonio.
O ₂	Ossigeno.
CH ₄	Metano.
N ₂ O	Protossido di azoto
H ₂ O	Acqua liquida/gassosa
Std	Standard
Δ	Differenza
T	Temperatura (° Celsius)
ET _c	Evapotraspirazione colturale
Cv.	Cultivar
Var.	Varietà
°C	Gradi Celsius
P _n	Fotosintesi netta
G _s	conduttanza stomatica
>	maggiore (di)
<	minore (di)
=	uguale
mm	millimetri pioggia
ψ _l	potenziale idrico
MPa	MegaPascal
L/h	litri/ora
GG	Gradi giorno (Indice di Amerine-Winkler)
NT	Notti tropicali

INTRODUZIONE

Il cambiamento climatico nell'ultimo decennio è uno degli argomenti più trattati dalle nazioni e dalla comunità scientifica. È un problema riconosciuto che l'intera umanità deve affrontare. Negli ultimi anni è posto in quasi tutti i tavoli istituzionali mondiali, poiché causa diversi disagi sia sociali che economici. Secondo il report IPCC 2021 nei prossimi anni si avranno condizioni sempre peggiori.

Per cambiamento climatico si intende, in generale, una serie di modificazioni statisticamente valide di condizioni e valori climatici su un territorio più o meno ampio su scala decennale.

La causa più accreditata del cambiamento climatico è data dall'innalzamento della temperatura media mondiale, dovuto ad un aumento della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera.

Gas serra come biossido di carbonio (CO₂), metano (CH₄), ozono (O₃), vapore acqueo (H₂O) e protossido di azoto (N₂O) assicurano il normale riscaldamento della superficie terrestre e lo strato più basso dell'atmosfera, intrappolando i raggi infrarossi riemessi dalla superficie. La concentrazione in aumento sta intensificando eccessivamente questo effetto, determinando il riscaldamento globale. Nel dettaglio, la temperatura media risulta 0.68°C al di sopra della media del periodo compreso tra il 1991 e il 2020 e 1.56°C al di sopra della media preindustriale compresa tra il 1850 e il 1900 (Greenpeace Italia).

Gli aumenti della temperatura favoriscono estati calde e inverni miti, scioglimenti dei ghiacciai, precipitazioni di entità estreme e distribuzione disomogenea.

Negli ultimi report IPCC (2021) è stato evidenziato un avanzamento delle fasce desertiche, una mitigazione dei climi freddi che tendono ai poli, in conseguenza una traslazione delle fasce temperate verso latitudini più elevate. Secondo questi studi nel lungo periodo anche le zone agricole più produttive si sposteranno di conseguenza.

Le attività umane e le misure che si intraprenderanno nel breve periodo saranno di fondamentale importanza per limitare e attenuare gli effetti del cambiamento climatico.

1. CAMBIAMENTO CLIMATICO IN ITALIA

L'Italia è una delle nazioni a risentire maggiormente del cambiamento climatico. Secondo i dati ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), l'aumento della temperatura media del periodo climatologico 1991-2020, rispetto al periodo climatologico 1961-1990, è stata pressoché superiore all'aumento medio globale.

La temperatura media degli anni 1991-2020 è aumentata rispetto a quella degli anni 1961-1990 di 0,99°C (+8,11%) (Tabella 1), e nello stesso periodo la temperatura media da aprile a ottobre è aumentata di 1,13°C (+6,77%) (Harris et al., 2020) (Tabella 2).

Tabella 1. Variazione della temperatura media in Italia (fonte: Harris et al., 2020).

Anni	1901-1930	1931-1960	1961-1990	1991-2020
Temperatura media	11,95°C	12,21°C	12,20°C	13,19°C
ΔT	-	+0,26°C	-0,01°C	+0,99°C
Variation (%)	-	+2,18%	-0,08%	+8,11%

Tabella 2. Variazione della temperatura media da aprile a ottobre in Italia (fonte: Harris et al., 2020).

	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre
1961-1990	10,31°C	14,51°C	18,25°C	21,17°C	21,00°C	18,02°C	13,57°C
1991-2020	11,37°C	15,67°C	19,79°C	22,51°C	22,61°C	18,57°C	14,28°C
ΔT	+1,06°C	+1,16°C	+1,54°C	+1,34°C	+1,61°C	+0,55°C	+0,71°C
Variation (%)	+10,28%	+7,99%	+8,44%	+6,33%	+7,67%	+3,05%	+5,23%
ΔT media	+1,13°C						
Variation media (%)	+6,77%						

Considerando l'andamento pluviometrico italiano dal 1800 al 2016, relative alla media del periodo 1971-2000 (Figura 1), (Brunetti e Maugeri, 2018), si evidenzia una tendenza leggermente negativa, con un trend pari a $-0,47 \pm 0,15\%$ per decennio, maggiormente pronunciato al nord, dove il trend è di $-0,64 \pm 0,18\%$ per decennio.

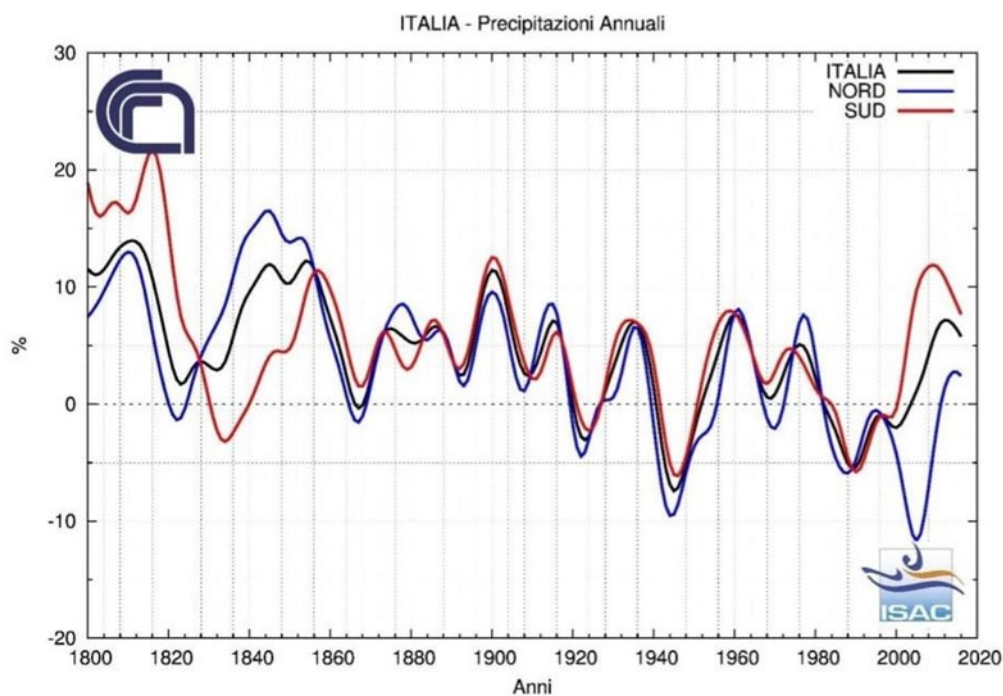


Figura 1. Andamento pluviometrico annuali in Italia dal 1800 al 2016, con media di riferimento 1971-2000 (fonte: Brunetti e Maugeri, 2018).

2. IMPATTO DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO SULLA VITICOLTURA

L'incremento di CO₂ nell'atmosfera e delle temperature medie, le variazioni dei regimi pluviometrici e gli eventi estremi alterano le fasi fenologiche della vite, modificano le zone di coltivazione e incidono sulla pressione e diffusione degli insetti e funghi patogeni.

Studi effettuati da Koufos et al., (2020) sulla fenologia delle viti, mostrano un anticipo delle fasi fenologiche dovute all'aumento delle temperature. La data di fioritura è anticipata di 15-20 giorni negli ultimi 40 anni e di conseguenza allo stesso modo anche la data di vendemmia (Tabella 3).

Questo ha permesso un ampliamento dell'areale di coltivazione della vite, come i paesi del nord Europa e del nord America. Nei paesi meridionali, storici per la viticoltura, come sud Italia o la Spagna meridionale, pagano le conseguenze più gravi del mutamento climatico. L'aumento della temperatura spesso è accompagnato da lunghe siccità sia invernali che estive e questo compromette notevolmente la produzione sia in termini quantitativi che qualitativi (Droulia e Charalampopoulos, 2022).

L'aumento della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera ha degli effetti positivi, per quanto riguarda la fotosintesi e fissazione del carbonio, e nel caso di piante come la vite si stima un incremento di produttività, in termini di sostanza secca, attorno al 10-25%. In ogni caso l'incremento della produttività è sempre condizionato dalle temperature e dalle precipitazioni; pertanto, nei paesi meridionali questo vantaggio è pressoché inesistente. Da un lato un regime di deficit idrico controllato è mediamente favorevole alla qualità delle uve, in special modo per quelle a bacca rossa (van Leeuwen et al., 2009). Severi stress idrici, soprattutto se accompagnati da alte temperature, che aumentano il deficit di pressione di vapore, e quindi l'evapotraspirazione, possono comportare effetti dannosi. Inizialmente avviene un calo delle rese determinato dalla riduzione delle dimensioni degli acini, ma la situazione può aggravarsi e gli acini possono avvizzire, fino a riscontrare, nei casi più gravi, la necrosi di interi grappoli (Cook e Wolkovich., 2016). Vengono anche a modificarsi i parametri di base per la maturazione dei grappoli con squilibri fra acidi, che tendono a ridursi eccessivamente, e zuccheri, che invece spesso si ritrovano in eccesso; così anche le componenti aromatiche ed i relativi precursori che potrebbero maggiormente degradarsi, con conseguente appiattimento del profilo sensoriale dei vini (van Leeuwen e Darriet, 2016). Fenomeni estremi, come le ondate di calore o l'assenza di precipitazioni, con temperature giornaliere che in estate possono

superare i 30°C, fino anche ai 40 °C, o anche eccessi termico-radiativi a livello dei grappoli, vanno solo a peggiorare le caratteristiche qualitative delle uve; si possono avere problematiche di scottature sulle uve che vanno a ridurre drasticamente anche i livelli produttivi, inoltre lo stress complessivo a cui vanno incontro le piante durante questi periodi può avere ripercussioni negative anche sulla vigoria e accumulo di sostanze di riserva delle viti stesse nel lungo periodo (Jones, 2005).

Temperature oltre i 32°C possono determinare alte concentrazioni di estratto secco, ma l'ottenimento di valori superiori a 26-27 °Brix è più probabilmente dovuto a fenomeni di disidratazione piuttosto che all'accumulo di fotosintetati mediante trasporto (De Orduna, 2010; Ju et al., 2018). In aggiunta, se la radiazione e/o la temperatura sono eccessive, oltre all'avvizzimento si può verificare la demolizione dei tessuti dei frutti (Lobos et al., 2015), e questi fenomeni sono più frequenti in condizioni siccitose (Williams, 2001). Inoltre, generalmente, a temperature più alte di 30°C l'inibizione del fotosistema II, la componente più termolabile della catena di trasporto degli elettroni, determina un progressivo calo della capacità e della resa di assorbimento di CO₂ (Georgieva et al., 2000), limitando quindi l'attività fotosintetica della pianta (Figura 2).

Luce e temperature influenzano profondamente anche il metabolismo dei composti fenolici ed aromatici. La produzione di questi metaboliti secondari avviene in reazione a condizioni di stress (Gershenzon e Dudareva, 2007). Tuttavia, temperature eccessive possono limitare la sintesi di antociani, eventualmente indurre una loro degradazione (Torres et al., 2020), e persino portare ad una perdita di sincronia tra il loro accumulo e quello zuccherino, producendo così un'uva con scarso quantitativo di antociani (Sadras e Moran, 2012), e rendendo difficile stabilire la data ideale di vendemmia.

Si ritiene necessario pertanto trovare delle valide soluzioni che possano mitigare gli effetti del cambiamento climatico in viticoltura, e non soltanto nel breve periodo, al fine di mantenere un elevato standard qualitativo del prodotto, ma anche in ottica di lungo periodo, poiché si prevede che le regioni Mediterranee dovranno affrontare importanti cali qualitativi nei frutti, e, oltretutto, questo calo qualitativo si risentirà maggiormente nei vini di maggior prestigio (Cardell et al., 2019; Teslic et al., 2019).

Tabella 3. Sintesi di alcuni studi effettuati in Italia sugli effetti del cambiamento climatico in viticoltura (Fonte: Droulia e Charalampopoulos, 2022)

Luogo	Periodo temporale	Impatto sulla viticoltura	Riferimento
Conegliano (Treviso)	45 anni (1964-2009)	Fenologia anticipata, minore intervallo tra le fasi fenologiche, vendemmia anticipata	Tomasi et al., 2011
Abruzzo	40 anni (1974-2013)	Vendemmia anticipata, minore intervallo tra le fasi fenologiche	Di Lena et al., 2009
Abruzzo	53 anni (1959-2012)	Vendemmia anticipata	Di Carlo et al., 2019
Romagna	61 anni (1953-2013)	Aumento tenore alcolico dei vini, aumento delle rese	Teslic et al., 2018
Umbria	20 anni (1995-2015)	Anticipo o posticipo della vendemmia (a seconda della varietà), riduzione dell'acidità titolabile nei vitigni a bacca bianca, aumento o diminuzione del contenuto zuccherino nei vitigni a bacca rossa (a seconda della varietà).	Biasi et al., 2019
Marche	50 anni (1971-2020)	Diminuzione della produzione di uva	Gentilucci et al., 2020
Alto Adige	25 anni (1996-2021)	Vendemmia anticipata	Ferretti et al., 2021



Figura 2. Condizioni di stress idrico in prossimità della vendemmia, con foglie basali ingiallite. (<http://www.viten.net/tags/stress-idrico>)

3. STRATEGIE INNOVATIVE PER MITIGARE GLI EFFETTI DEL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN VITICOLTURA

Sono molte le tecniche studiate per contrastare gli effetti dei cambiamenti climatici in viticoltura sia nel breve che nel medio-lungo termine. Per il medio-lungo periodo si può ricorrere a strategie riguardanti nuovi sistemi d'impianto e forme di allevamento, uso di varietà resistenti e l'impianto di vigneti dotati di sistemi di irrigazione (Pallioti et al., 2014).

La ricerca genetica è orientata verso l'individuazione e l'ottenimento di genotipi resistenti agli stress termici, radiativi ed idrici, quindi, in ultima analisi, quelli caratterizzati da un'ottima efficienza d'uso dell'acqua. Di importanza centrale sono i portinnesti che andrebbero selezionati in base alla tolleranza agli stress idrici, e un rinnovato interesse andrebbe riposto nell'interazione tra il nesto ed il portinnesto, optando per portinnesti di medio/alto vigore (Pallioti et al., 2014), che garantirebbero rese per pianta più elevate, favorendo verosimilmente un più lento accumulo di solidi solubili.

I sistemi di allevamento a vegetazione assurgente, in cui solitamente vi è una netta separazione tra la fascia vegetativa e quella produttiva, determinano in alcuni casi un'eccessiva esposizione dei grappoli al sole, che può causare avvizzimenti e scottature (Pallioti et al., 2014). Jackson e Lombard (1993), invece, hanno dimostrato che le condizioni ambientali ideali per un'ottimale maturazione del grappolo siano di illuminazione diffusa, interrotta occasionalmente da fasci di luce diretta e ne consegue che nei sistemi di allevamento a vegetazione assurgente andrebbe posta estrema attenzione alle modalità di potatura verde.

Per il breve termine, si basano sul condizionamento della pianta e dei suoi processi fisiologici, per rallentare la maturazione, alterare il germogliamento, aumentare la tolleranza alla siccità ecc. Tra questi troviamo strategie flessibili e non flessibili. Le strategie flessibili sono applicate durante il corso della stagione vegetativa, al verificarsi di stress termici e radiativi come defogliazione, cimatura, vendemmia anticipata, regolatori di crescita, competizione per nutrienti, limitazione della produzione dei nutrienti, l'uso di reti ombreggianti (Figura 3) e prodotti di origine naturale quali polveri di roccia o estratti di alghe. Questi prodotti vengono applicati in copertura per svolgere un'azione schermante nei confronti della radiazione luminosa e dell'eccessiva evapotraspirazione provocata dalle ondate di calore,

sono attuabili a stagione avanzata, e dunque solo nel caso in cui lo stress si verifici. (Figura 4) (Silvestroni et al., 2020).

Tra le strategie non flessibili, che sono applicate ad inizio della stagione vegetativa, in previsione di effetti dannosi del cambiamento climatico, troviamo ad esempio potatura tardiva e rifinitura tardiva di viti prepotate (Silvestroni et al., 2018).



Figura 3. Reti schermanti (Fonte: agronotizie.imaginenetwork.com)



Figura 4. Viti di Ortrugo trattate con caolino (sinistra) e non trattate (destra), agosto 2020 (Fonte: agronotizie.imaginenetwork.com)

L'irrigazione in viticoltura.

Quantità adeguate di acqua sono essenziali per un rapido sviluppo del vigneto e per un'abbondante produzione. I deficit idrici all'inizio della stagione riducono la crescita vegetativa (germogli) e possono ridurre le produzioni. Una crescita vegetativa rallentata è dannosa per le viti giovani, che necessitano della massima crescita per accelerare lo sviluppo della chioma del vigneto (Schwankl et al, 1995).

Gravi deficit idrici durante l'estate possono interrompere lo sviluppo delle gemme e causare la caduta prematura delle foglie. Troppa acqua, al contrario, può causare una scarsa distanza tra gli internodi e una bassa resistenza alle temperature minime invernali, può inoltre danneggiare le radici privandole di ossigeno, soprattutto in terreni non ben drenati (Schwankl et al, 1995).

Una gestione efficace dell'irrigazione include l'uso di un bilancio idrico, e ciò significa stimare il fabbisogno idrico delle colture attraverso metodi predittivi o dispositivi di monitoraggio dell'umidità del suolo e quindi valutare l'efficacia dell'irrigazione dopo che è stata applicata la quantità programmata. Per un uso più sostenibile della risorsa irrigua, l'irrigazione oggi è effettuata seguendo il principio dello *stress idrico controllato*, quindi restituendo solo una frazione dell'ETc. questa pratica permette di risparmiare acqua aumentando l'efficienza di utilizzo, non abbassa eccessivamente le rese e migliora la qualità, consentendo un equilibrio della chioma senza stress idrici marcati ed eccessi di vigoria che penalizzano la qualità (Palliotti et al, 2018).

Ci sono diverse modalità per attuare questa pratica,

- 1- Deficit idrico controllato. Prevede l'apporto ridotto rispetto ai fabbisogni per periodi specifici del ciclo annuale. Si tratta di uno stress realizzato nel tempo nei periodi compresi tra fioritura-invaiaatura e invaiaatura-maturazione. Quest'ultimo periodo è preferito attuare il deficit in quanto la vite acquisisce maggiore resistenza allo stress.
- 2- Irrigazione parzializzata. Prevede un apporto irriguo ridotto rispetto ai fabbisogni realizzato nello spazio, ovvero irrigare secondo l'ETc un lato del filare o del ceppo e lasciare asciutto l'altro lato. In questo modo si contrappongono volumi di suolo umidi e secchi, e le radici poste in asciutto, in risposta allo stress, producono acido abscissico (ABA).

Questo fitormone è responsabile della chiusura degli stomi e controlla la reazione allo stress idrico. Questa tecnica prevede, ogni 10-14 giorni, l'inversione dei lati irrigui e asciutti.

- 3- Deficit idrico generalizzato. Modalità simile al deficit idrico controllato, con la differenza che non si fanno distinzioni temporali e si adotta il deficit per tutta la stagione irrigua. (Palliotti et al, 2018)

I sistemi di irrigazione sono progettati e gestiti per favorire rese e qualità ottimali delle colture, nonché un uso efficiente dell'acqua e dell'energia. A volte, tuttavia, si possono fare altre considerazioni che vanno a determinare sia le decisioni progettuali che operative. Il costo totale di un impianto, che include l'installazione iniziale, il funzionamento e le manutenzioni ordinarie e straordinarie, influenza marcatamente la scelta del sistema di irrigazione da parte del viticoltore. Altri fattori da considerare sono le caratteristiche fisiche e chimiche del terreno, l'uniformità del suolo, la pendenza, l'eventuale rischio di gelo e la disponibilità dell'acqua. Dopo aver analizzato tutte queste variabili si può selezionare il sistema giusto. Un sistema appropriato è molto spesso un compromesso tra obiettivi entro limiti economici. La scelta di un sistema di irrigazione adeguato è il primo passo verso una buona gestione dell'acqua che influenza favorevolmente la resa e la qualità nonché la nutrizione minerale della vite; inoltre, riduce al minimo i problemi legati agli insetti, alle malattie e facilita il controllo delle infestanti (Tabella 4) (Schwankl et al, 1995).

Tabella 4. Fattori da considerare nella scelta di un sistema di irrigazione (limitazioni dei sistemi) (Fonte: Schwankl et al, 1995)

Factor	Sprinkler system (solid set)	Surface flood systems			Low-volume systems	
		Graded border	Level border	Furrow	Drip	Micro-sprinkler
Maximum slope						
Irrigation direction	None	0.2–2.0	0.0	1.0–2.0	None	None
Cross-slope	None	0.2	0.2	6.0	None	None
Soil characteristics						
Water intake (in/hr)						
Minimum	0.05	0.30	0.10	0.10	0.02	0.02
Maximum	3.00	2.00	2.00	3.00	None	None
Erosion hazard	Slight	Moderate	Slight	Severe	None	Slight
Saline-alkali hazard	Slight	Moderate	Slight	Severe	Moderate	Moderate
Water characteristics						
TDS*	Severe	Slight	Slight	Moderate	Slight	Slight
Suspended solids	Moderate	None	None	None	Severe	Severe
Rate of flow	Low	Moderate	Moderate	Moderate	Low	Low
Climatic factors						
Temperature-controlled	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Wind-affected	Yes	No	No	No	No	Yes
System costs						
Capital (\$/acre)†	700–1,200	500–600	500–600	400–500	700–1,100	800–1,200
Labor	Low	Moderate	Moderate	High	Low	Low
Power	High	Low	Low	Low	Moderate	Moderate
Annual average costs (\$/acre/year)	200–300	100–200	100–200	200–300	200–300	200–300
Irrigation efficiency (%)‡	75–85	70–80	75–80	70–80	80–95	80–95

*Total dissolved solids

†Amortized capital cost plus operation and maintenance costs

‡Consumptive use + applied water = irrigation efficiency, assuming good to excellent management and design

La quantità di acqua che può essere applicata in una singola applicazione tramite l'irrigazione di superficie convenzionale (ovvero, l'irrigazione a sommersione o a solco) o, in una certa misura, l'irrigazione a pioggia, dipende dalla capacità del terreno di assorbire l'acqua. Per ridurre al minimo i problemi di malattie e garantire la massima durata del vigneto, l'acqua di irrigazione superficiale dovrebbe essere assorbita dal terreno entro un massimo di 24-48 ore. Ad inizio irrigazione, l'acqua è assorbita dal terreno a una velocità elevata, principalmente perché il terreno è asciutto e i pori del terreno sono facilmente occupabili. Man mano che l'irrigazione procede, la velocità di infiltrazione diminuisce drasticamente e dopo alcune ore, si stabilizza ad un minimo. In figura 5 si mostra la tipica relazione tra la velocità di infiltrazione dell'acqua nel suolo e il periodo di tempo in cui il suolo è sottoposto a irrigazione superficiale. Le caratteristiche di assorbimento dell'acqua da parte del terreno dipendono dalla composizione fisica e chimica dello stesso nonché dalla composizione chimica dell'acqua applicata (Schwankl et al, 1995).

Sistemi irrigui a goccia o a basso volume applicano acqua con una portata vicino o inferiore alla velocità di infiltrazione di base (Figura 5), riducendo il rischio di deflusso. In generale, applicano meno acqua per unità di tempo rispetto ai sistemi di superficie e spesso richiedono periodi di applicazione più lunghi o più frequenti per soddisfare il fabbisogno idrico del vigneto. Quando si irrigano terreni che presentano problemi di infiltrazione d'acqua o quando si utilizzano sistemi con portate irrigue elevate, la sessione di irrigazione dovrebbe terminare quando si presenta ristagno superficiale, il quale indica che l'acqua applicata ha superato il tasso d'infiltrazione. Ciò ridurrà il deflusso e le problematiche legate ad un terreno saturo e stagnante (Schwankl et al, 1995).

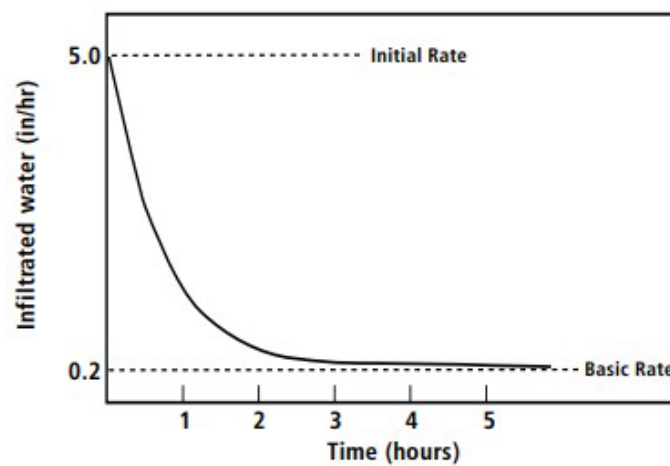


Figura 5. Infiltrazione dell'acqua in condizioni std (Fonte: Schwankl et al, 1995)

3.1 MICRO-IRRIGAZIONE IN VITICOLTURA.

La micro-irrigazione comprende gli irrigatori a goccia (figura 6) e quelli a basso volume (micro-irrigatori). Questo metodo di irrigazione si basa sulla frequente applicazione di bassi volumi d'acqua su un volume limitato di terreno. L'acqua viene applicata vicino ad ogni ceppo attraverso piccoli tubi o gocciolatori (2-16 L/h) oppure erogatori a spruzzo (microjet) (40-80 L/h). I gocciolatori per l'irrigazione a goccia possono essere fuori terra o interrati (sub-irrigazione). Le tecniche di micro-irrigazione hanno ampiamente sostituito i sistemi di irrigazione superficiale, per superare la variabilità del suolo, le disparità di tempo e le difficoltà topografiche (Palliotti et al, 2018).

I sistemi di micro-irrigazione possono essere utilizzati per applicare piccole quantità di acqua senza interrompere l'accesso al vigneto e forniscono un elevato grado di controllo sullo stato idrico della vite. I sistemi di micro-irrigazione forniscono una migliore distribuzione dell'acqua e un migliore controllo del tempo di irrigazione, entrambi preferibili quando si utilizza la programmazione digitale o automatizzata dell'irrigazione. Il volume di terreno bagnato attorno alle viti mediante la micro-irrigazione è inferiore rispetto ad altri metodi di irrigazione. Alcuni studi suggeriscono che nei vigneti in produzione, venga bagnato dal 40 al 60% del volume del terreno mentre le viti giovani ne richiedono meno. I terreni senza un adeguato movimento capillare dell'acqua possono richiedere più di un gocciolatore per ottenere il volume bagnato richiesto. Viti di notevoli dimensioni, datate e distanziate possono richiedere fino a tre gocciolatori ciascuna su terreno argilloso. I micro-irrigatori a spruzzo e sistemi simili distribuiscono l'acqua su una superficie maggiore rispetto ai gocciolatori e quindi richiedono meno gocciolatori per vite (Palliotti et al, 2018).

Rispetto ad altri sistemi, un sistema di micro-irrigazione adeguatamente gestito può consentire un notevole risparmio idrico. L'entità del risparmio dipende dal tipo di sistema utilizzato per il confronto, dalla sua progettazione e dal suo livello di gestione. Tuttavia, potrebbero esserci dei risparmi dovuti alla potenziale riduzione della percolazione e dell'evaporazione durante l'irrigazione e dalla superficie del suolo dopo l'irrigazione. Il risparmio è maggiore nei vigneti giovani prima che si sviluppi la chioma completa (Schwankl et al, 1999).

Vantaggi. La maggior parte degli impianti di micro-irrigazione possono aiutare a superare la carenza di approvvigionamento idrico, gli elevati costi dell'acqua per l'irrigazione, l'infiltrazione d'acqua scarsa, eccessiva o variabile e i problemi di irrigazione posti dalla coltivazione di un vigneto su notevoli pendenze. Tali sistemi interferiscono poco con la

lavorazione del terreno e possono essere altamente automatizzati, quindi il fabbisogno di manodopera è basso. Il risparmio idrico solitamente deriva da un ridotto deflusso, da una ridotta percolazione ed evaporazione (Schwankl et al, 1995).

Risparmio idrico. L'acqua consumata dalle viti in un vigneto ben irrigato è la stessa, indipendentemente dal sistema di irrigazione utilizzato. Tuttavia, i metodi di irrigazione differiscono in modo significativo nel volume di acqua applicata. Poiché i sistemi di micro-irrigazione distribuiscono l'acqua in modo relativamente preciso, è sufficiente applicarne una minore quantità. I metodi di micro-irrigazione bagnano meno superficie e quindi riducono il volume di acqua persa per evaporazione dalla superficie del suolo. Le stime del risparmio idrico dovuto alla ridotta evaporazione vanno dal 5 al 15% a seconda della frequenza di applicazione e della condizione climatica. Poiché la micro-irrigazione bagna meno la superficie del suolo, la crescita totale delle erbe spontanee può essere ridotta anche se queste crescono vigorosamente vicino alle zone irrigate. Queste erbe sono spesso difficili da falciare e controllare in corrispondenza dei gocciolatori, trovandosi al di sotto del filare, e possono richiedere l'uso di erbicidi per un controllo efficace. Il fabbisogno idrico di un vigneto in allevamento è inferiore a quello di un vigneto in produzione. I sistemi radicali non sono ancora sviluppati per utilizzare l'acqua applicata ad una certa distanza dal ceppo. Quest'acqua sarà soggetta a maggiore evaporazione, percolazione o a favorire la crescita delle erbe spontanee. Fin tanto che le chiome non saranno completamente sviluppate, i sistemi di micro-irrigazione possono risparmiare quantità molto significative di acqua rispetto ai sistemi di irrigazione di superficie (Schwankl et al, 1995).

Maggiore fruibilità dell'acqua ad alto contenuto di sale. Con adeguate tecniche di micro-irrigazione, è possibile utilizzare con successo acqua contenente livelli relativamente elevati di sali. I sali possono tuttavia accumularsi intorno alla zona radicale, costituendo un pericolo se non vengono rimossi dalle piogge o da un programma di lisciviazione. Durante i periodi di siccità o di utilizzo di acque saline, bisogna monitorare l'accumulo di sale nel terreno e condurre un programma di lisciviazione appropriato (Schwankl et al, 1995).

Risparmio energetico. I sistemi di micro-irrigazione di solito funzionano a pressioni intorno a 15 psi (misurate al gocciolatore). Rispetto ai sistemi di irrigazione ad alta pressione (50 psi) e a bassa pressione (35 psi), il fabbisogno energetico per la messa in pressione dell'acqua di un sistema di micro-irrigazione è di circa un terzo in meno. Inoltre, poiché i sistemi di micro-irrigazione applicano la stessa quantità di acqua per un periodo di tempo più lungo, sia le dimensioni della pompa che quelle dei tubi possono essere più piccole. Ciò riduce in una certa misura gli investimenti iniziali e la domanda di energia (Schwankl et al, 1995).

Limitazioni. L'intasamento degli orifizi dei gocciolatori è considerato uno dei problemi più noti negli impianti di micro-irrigazione. Gli orifizi possono essere ostruiti da particelle di sabbia, limo o argilla, sostanze chimiche inorganiche che formano precipitati di calcio e ferro o materiale organico trasportato nell'acqua. Quando i gocciolatori sono parzialmente o completamente intasati l'uniformità d'irrigazione diminuisce. L'intasamento è solitamente un problema minore con i micro-irrigatori, grazie ai loro ampi orifizi di emissione. Inoltre, l'ostruzione parziale è più rilevabile con i micro-irrigatori perché causa l'interruzione della superficie irrigata interessata. L'intasamento degli erogatori può essere efficacemente ridotto attraverso un'adeguata filtrazione e l'uso di trattamenti chimici adeguati (Schwankl, 1995).



Figura 6. Impianto di micro-irrigazione a goccia su vigneto (Fonte: <https://www.acquafertagri.it/irrigazione-agricola/microirrigazione-a-goccia/>)

SCOPO DELLA TESI

I profondi mutamenti in viticoltura dovuti all'incremento termico del cambiamento climatico hanno contribuito a studiare e valutare numerose strategie di mitigazione e adattamento. La soluzione più immediata alle alte temperature è stata ed è ancora il ricorso all'irrigazione. Questo presuppone disponibilità idrica e attualmente in molti ambienti come quello dell'Italia centro settentrionale la risorsa idrica è limitata, l'acqua irrigua risulta scarsa e vista come un costo aggiuntivo. Pertanto, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di valutare le ripercussioni sulle viti utilizzando bassi volumi irrigui in una condizione di mutato contesto climatico basato su elevate risorse termiche e luminose. Lo studio si è posto l'obiettivo di raggiungere un duplice obiettivo, ovvero il risparmio idrico e la salvaguardia delle rese e della qualità delle uve, attraverso analisi e rilievi fisiologici.

4. MATERIALI E METODI

Questa sperimentazione è stata condotta presso l'azienda agricola "La Navicella" di proprietà dell'I.I.S. "C. Ulpiani" sito in Ascoli Piceno, nell'ambito del PSR dal Titolo 'Sistemi irrigui innovativi in viticoltura biologica come strategia di mitigazione ai cambiamenti climatici' (IRRVINE), finanziato dalla Regione Marche all'interno del Piano di Sviluppo Rurale (Misura 16.2 a)- Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie" attivata nell'ambito dei Progetti Integrati di Filiera (PIF) Agroalimentare.

4.1 IL VIGNETO

L'azienda agraria denominata "La Navicella" dell'I.I.S. "C. Ulpiani" (Figura 7) si estende per oltre 50 ettari di superficie totale quasi completamente accorpata. Di questa, oltre 40 ettari rappresentano la Superficie Agraria Utile (SAU) cioè quella interessata dalle coltivazioni in regime biologico; la rimanente parte è costituita da superfici improduttive come scarpate, fabbricati ed aree annesse ai fabbricati, boschi e specchi d'acqua. Le coltivazioni praticate presso l'azienda sono: vigneti (12 ettari circa), oliveti (5,5 ettari), foraggere (18 ettari) cereali (4,5 ettari) e legumi. Dal 2004 tutta l'azienda è gestita secondo i canoni dell'agricoltura biologica e dal 2020 anche il processo di trasformazione delle uve segue il procedimento biologico.



Figura 7. Azienda agricola “La Navicella”, in evidenza i filari del vigneto interessati con punto d’ingresso indicato dalla freccia. (Fonte: www.googlemaps.com)

Il vigneto in esame si trova a circa 150 metri s.l.m., su un suolo pianeggiante ricco di sabbia (70,70%) e ricco di sostanza organica. L’impianto del vigneto risale al 2008, e le talee, della cultivar Pecorino, sono innestate su portinnesto 420A. I filari hanno un orientamento nord/sud e distano 3m tra loro. Le viti hanno una distanza sulla fila pari a 1,20m, sono allevate a cordone speronato, con pali a 6m e 5 ceppi ogni interpalo.

Il vigneto in esame è dotato di sistema di irrigazione costituito da gocciolatori a compensazione di pressione di capacità pari a 2,5 L/h, distanziati di 1m. La disponibilità idrica del suolo è stata modificata restituendo, durante il periodo di post-allegagione e invaiatura, acqua (tesi irrigata), secondo volumi e turni aziendali.

Il confronto tra le tesi irrigue e non irrigue è stato effettuato suddividendo il vigneto in due blocchi, ognuno dei quali costituiti da 8 filari, 4 dei quali sottoposti ad irrigazione (I) e 4 lasciati in “asciutto” (C). I 2 filari centrali di ogni lotto sono stati selezionati come campioni e suddivisi in due parcelle, all’interno delle quali sono state selezionate 4 viti per un totale di 16 viti per tesi (Figura 8).

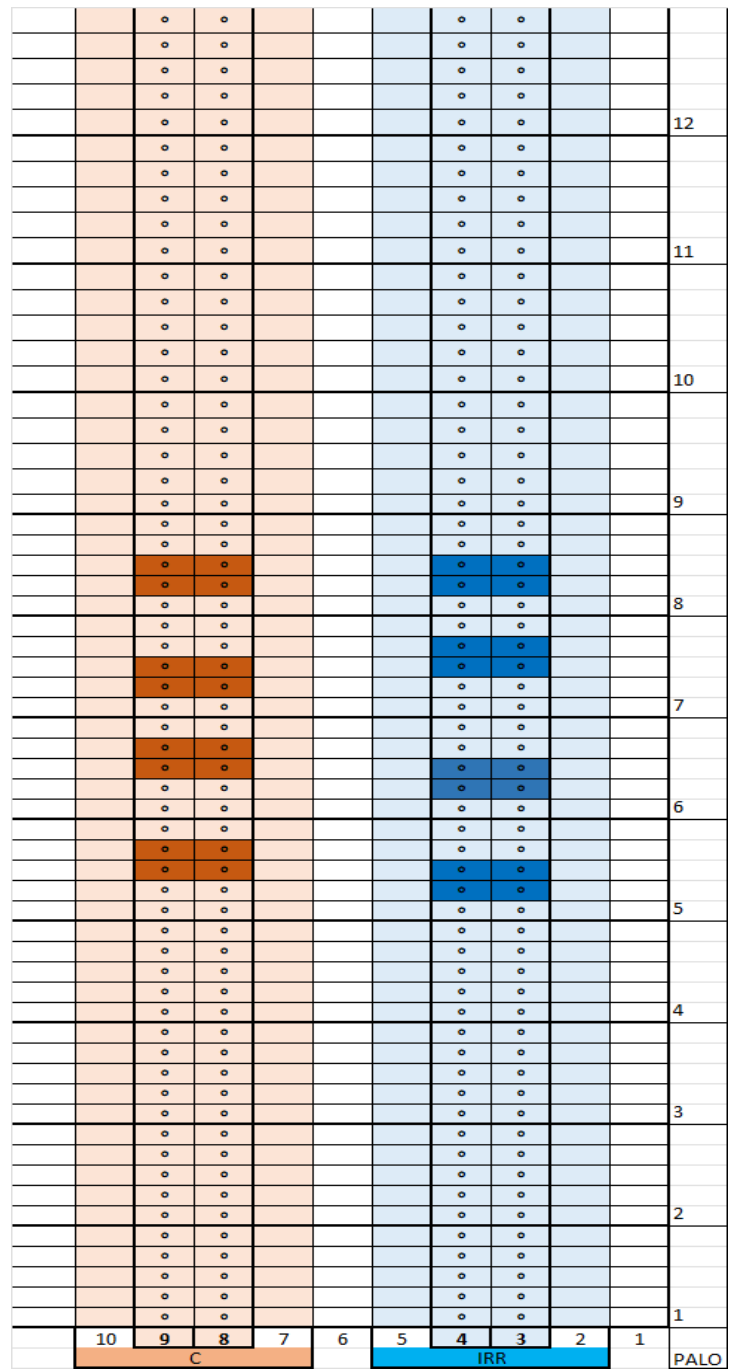


Figura 8. Schema dei filari presi in esame e relative viti evidenziate oggetto della sperimentazione

4.2 CULTIVAR IN ESAME

Il vitigno chiamato “Pecorino” è un autoctono marchigiano a bacca bianca. È diffuso soprattutto nel Piceno e porta questo nome curioso perché la zona dove veniva coltivato era dedita alla pastorizia. Le sue prime tracce risalgono ai tempi di Catone il Censore (II secolo a.C.) che lo includeva tra le varietà portate in Italia durante le migrazioni greche. Il nome del vitigno rimane tutt’oggi un mistero, ma tra le varie ipotesi maggiore credito ha quella che lo lega alla pratica della pastorizia transumante, tipica dell’Abruzzo: pare che le pecore andassero pazze per questo tipo di uva che, maturando prima delle altre varietà regionali, era dolcissima nel periodo del loro passaggio, verso metà settembre. Si tratta di un vitigno riscoperto di recente: rischiava di andare perduto perché, come molti altri vitigni italiani, in passato è stato relegato in territori sempre più ristretti a causa della ridotta produttività e dello scarso interesse vinicolo. Risulta iscritto nel Catalogo Nazionale delle Varietà fin dal 1871: la documentazione storica conferma che era conosciuto in molte aree viticole del Centro (umbre, marchigiane, abruzzesi) e del Sud Italia (pugliesi) (Tenuta Cocci Grifoni, 2015).

Nella zona di Arquata del Tronto, in provincia di Ascoli Piceno è stato “ritrovato” il suddetto vitigno ed è indicativo delle sue caratteristiche. Si tratta di terreni collinari oltre 1000 metri sul livello del mare, dove dimostra la sua resistenza alle intemperie. Si capisce quindi che la scelta di collocare un vigneto di Pecorino, di cui si parla in questo elaborato, ad una quota di circa 850 m s.l.m non sia stata poi così azzardata: nel passato questo vitigno era normalmente coltivato a quelle quote (Tenuta Cocci Grifoni, 2015).

La riscoperta del Pecorino non sarebbe stata possibile senza la lungimiranza, la tenacia e la lucidità di Guido Cocci Grifoni che fin dai primi anni Ottanta, andando controcorrente rispetto alle tendenze del mercato che preferiva investire in una produzione più quantitativa che qualitativa e prediligeva i vitigni internazionali piuttosto che gli autoctoni, parte così la ricerca bibliografica per verificare la presenza storica nel territorio Piceno di antichi vitigni autoctoni a bacca bianca. Dalla ricerca emerse che, a nord del corso del Tronto, sulla sponda sinistra, a 1000 metri s.l.m., vicino ad Arquata del Tronto, c’era un vigneto piccolissimo, praticamente abbandonato, di proprietà allora di un ottantenne, dove era presente un antico vitigno denominato “Pecorino”. Ha saputo credere nelle potenzialità del vino da questo vitigno. Un successo segnato dal riconoscimento della DOC, ottenuto nel 2001 (Tenuta Cocci Grifoni, 2015).

Caratteristiche principali del vitigno:

Caratteri ampelografici: germoglio ad apice aperto, setoloso, verde-giallastro. Foglia mediopiccola, orbicolare, intera o trilobata con seno peziolare a lira chiusa con bordi molto sovrapposti. Lembo bolloso, pagina inferiore glabra. Grappolo medio-piccolo, cilindrico a volte provvisto di un'ala, semispargolo (Figura 9). Acino medio-piccolo, sferico, con buccia sottile di media consistenza; polpa succosa.

Attitudini culturali: vitigno di vigoria medio-bassa con portamento della vegetazione semieretto. Si adatta bene ai climi temperato-caldi e a suoli argillosi leggermente calcarei.

Allevamento e potatura: preferisce forme di allevamento espanse e potature medio-lunghe ma può essere condotto anche a cordone speronato.

Epoca di germogliamento: media.

Epoca di maturazione: precoce.

Produzione: media e non sempre costante.

Sensibilità alle malattie e alle avversità: in generale è poco sensibile sia alle malattie che alle avversità.

Potenziale enologico: dà vini di colore giallo paglierino scarico, di elevata acidità, con aroma fruttato, fresco e con note speziate. Buona la struttura. Si possono ottenere ottimi vini tranquilli anche invecchiati ed anche spumanti di indubbia qualità. (www.vivairauscedo.com).



Figura 9. Grappolo cv. Pecorino (Fonte: www.vivairauscedo.com)

4.3 RILIEVI EFFETTUATI

4.3.1 *Rilievi Fisiologici.*

Durante la stagione vegetativa 2024, a partire dalla fase di post fioritura, è stata valutata la capacità fotosintetica delle viti di Pecorino irrigue e asciutte, con misure a cadenza di circa due settimane, effettuate al mattino tra le 9.00 e le 11.00, fino alla raccolta. Nello specifico, i rilievi di conduttanza stomatica (gs) e fotosintesi netta (Pn) sono stati eseguiti nei giorni 31/05, 17/06, 5/07, 22/07, 29/07 e in data 26/08, in cui è stata svolta anche la vendemmia. Le misure sono state effettuate su 8 foglie mature (4 per parcella) scelte nella fascia mediana del germoglio, utilizzando un analizzatore portatile di gas a infrarossi (IRGA, Infra-Red-Gas-Analyser) a sistema aperto, modello LCA4 (ADC BioScientific Hoddesdon, Inghilterra). Il sistema è dotato di una camera a foglia larga (6,25 cm²) e le misurazioni sono state effettuate a umidità relativa ambiente con un flusso d'aria regolato a 350 mL min⁻¹. Per ogni trattamento, 8 foglie ben esposte e completamente espanse, poste nel tratto dal 6° al 10° nodo dalla base, sono state utilizzate per le misure di scambio di gas in condizioni di luce saturante (PAR > 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 10).



Figura 10. LCA-3 sistema portatile, analizzatore di gas ad infrarosso (ADC) e camera fogliare di tipo Parkinson.

Lo strumento aspira l'aria atmosferica sopra le chiome delle viti, grazie all'ausilio di una canna da pesca cava, in modo che la CO₂ aspirata sia il meno possibile influenzata dalla respirazione del vigneto stesso e dai gas emessi dagli stessi operatori in campo, poi tramite una pompa la invia sia alla camera di assimilazione, ove è alloggiata la foglia, sia all'analizzatore di gas (Figura 10).

4.3.2 Rilievi sullo stato idrico

Per monitorare lo stato idrico delle viti e monitorare i tempi di irrigazione, durante la stagione, sono state condotte, periodicamente, misure relative al potenziale idrico fogliare (Ψ_l) (camera a pressione Scholander, PMS Instrument Co., Albany, USA). (Fig.11). Le misurazioni di Ψ_l sono state effettuate dalle 12:00 alle 13:30 ora solare su 6 foglie per trattamento, mature e ben esposte al sole, campionate nella parte centrale dei germogli primari. Alcuni autori, considerano il potenziale idrico fogliare misurato a mezzogiorno o "Leaf Water potential" l'indicatore più idoneo per il monitoraggio dello stato idrico, a causa della migliore correlazione con la conduttanza stomatica e quindi traspirazione (Choné et al., 2001; Patakas et al., 2005).



Figura 11. Camera a pressione (PMS Instrument Co., Albany)

4.4 RILIEVI PRODUTTIVI E QUALITATIVI

Alla vendemmia, effettuata il 22/8/2024, i grappoli sono stati contati e pesati con un dinamometro HS-15K (capacità 15 kg x 0,01 kg, UWE (Universal Weight Electronics) Laageinde, 13b 4191 NR Geldermalsen, THE NETHERLANDS). Un sotto campione di 100 acini è stato prelevato in tutte le viti campione ed analizzato, per determinarne la concentrazione zuccherina, pH e acidità.

Gli acini di ciascun campione sono stati pesati in laboratorio per ottenerne il peso medio e, in seguito, pigiati per la fuoriuscita del succo. Il succo ottenuto è stato utilizzato per le analisi compositive del mosto: concentrazione zuccherina, pH e acidità titolabile, rispettivamente utilizzando un rifrattometro digitale a compensazione di temperatura Maselli LR-01 (Maselli Misure, Parma, Italia), un pHmetro Crison con elettrodo di vetro (Crison Instruments, Barcellona, Spagna) ed un titolatore Crison (Crison Instruments) usando 0,25 N di NaOH fino a pH 7,00, esprimendo quindi il dato in g/L di acido tartarico equivalente.

4.5 DATI TERMOPLUVIOMETRICI

I dati meteo relativi alla zona d'interesse sono stati desunti dal sito del Servizio Regionale della Protezione Civile della Regione Marche (<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Meteo#Richiesta-dati>), e provengono dalla stazione più vicina al vigneto, quindi potenzialmente più rappresentativa. Nello specifico la stazione in questione è ricadente nel paese di Brecciarolo (comune di Ascoli Piceno), distante circa 1,6 km dal sito oggetto di sperimentazione.

Sono stati presi in considerazione i “dati validati” relativi alle temperature minima (Tmin), media (Tmed) e massima (Tmax) ed alle precipitazioni (cumulate in mm) di tutto l'anno 2024.

5. RISULTATI E DISCUSSIONE

5.1 Temperature

Facendo riferimento ai dati della stazione di Brecciarolo (RT-2938) (comune di Ascoli Piceno), si possono osservare temperature superiori a 30°C nei mesi di giugno, luglio e agosto (Fig.12), corrispondenti alla fase di allegagione e maturazione del grappolo.

In particolare i giorni con massime >30°C sono 71, 1 giorno in aprile, 14 in giugno, 27 in luglio e 29 in agosto. I giorni con massime >35°C sono 17, ovvero 2 giorni in giugno, 9 in luglio e 6 in agosto (Tab. 5). La temperatura più alta registrata è stata di 37,63°C in data 01/08/2024.

Temperature >30°C comportano un progressivo calo del tasso fotosintetico, associato all'inibizione del fotosistema II (Georgieva et al., 2000)

Per quanto riguarda le notti tropicali (gg con Tmin >20°C) sono risultate 41, ripartite come segue: 4 in giugno, 18 in luglio e 9 in agosto (Tab. 6).

Infine è stato considerato l'Indice di Amerine-Winkler, calcolato dal 1° aprile al 31 agosto, che ammonta a 1837 GG (gradi giorno), mostrato in tabella con relative sommatorie progressive mensili (Tab. 7).

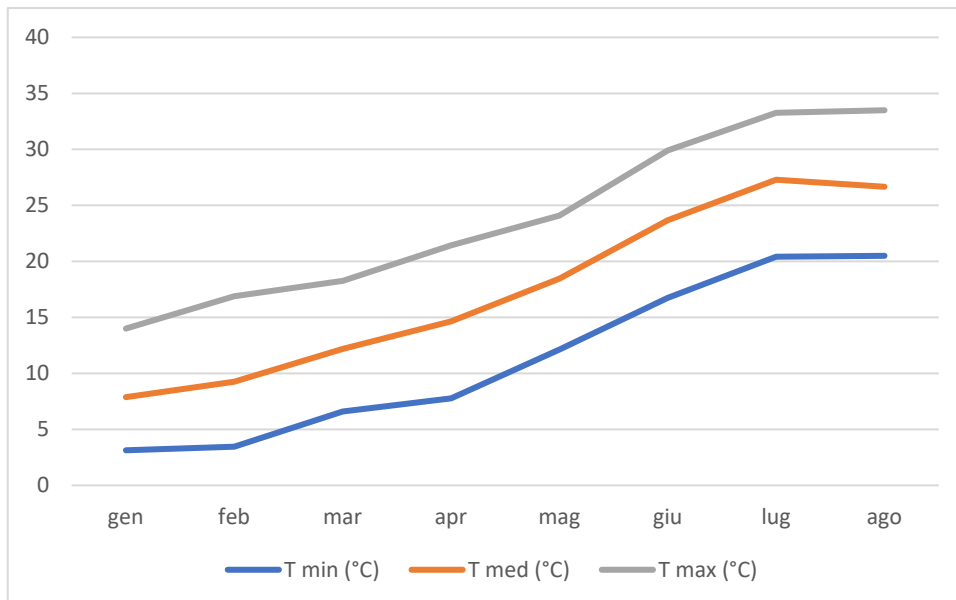


Figura 12. Andamento delle temperature (°C) minime, medie e massime mensili da gennaio ad agosto 2024 registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).

Tabella 5. Giorni con $T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$ e $>35^{\circ}\text{C}$ anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).

Mese	Giorni ($>30^{\circ}\text{C}$)	Giorni ($>35^{\circ}\text{C}$)
Aprile	1	0
Maggio	0	0
Giugno	14	2
Luglio	27	9
Agosto	29	6
TOT	71	17

Tabella 6. Notti tropicali ($T_{min}>20^{\circ}\text{C}$) anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).

Mese	N.T. ($>20^{\circ}\text{C}$)
Giugno	4
Luglio	18
Agosto	19
TOT	41

Tabella 7. Gradi giorno (Indice di Amerine-Winkler) cumulati mensilmente anno 2024, registrate da stazione Brecciarolo (RT-2938).

GG	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago
Mensile	142,54	262,33	396,44	535,96	499,73
Totale	142,54	404,87	801,31	1337,27	1837

5.2 Precipitazioni

Nell'anno 2024 nell'areale Piceno, da gennaio ad agosto, le precipitazioni totali sono state di 439,8 mm. La distribuzione mensile è stata abbastanza omogenea ad eccezione dei mesi di giugno e luglio, nei quali eventi piovosi importanti (15 mm/giorno) non si sono verificati per 52 giorni, a partire dal giorno 27 giugno fino al 17 agosto (Figura 13). Il mese di giugno è stato caratterizzato da alte temperature (Tabella 5), ma anche da una elevata presenza di piogge, che hanno raggiunto 115 mm in tutto il mese, 90 dei quali caduti tra il giorno 25 e 26 (Figura 13-14). Luglio, è stato invece, caratterizzato da un alto regime termico (Tabella 5) e scarse precipitazioni, solo 9mm, circa il 90% in meno del mese precedente (Figg 13-14). L'annata nel complesso è stata sommariamente asciutta.

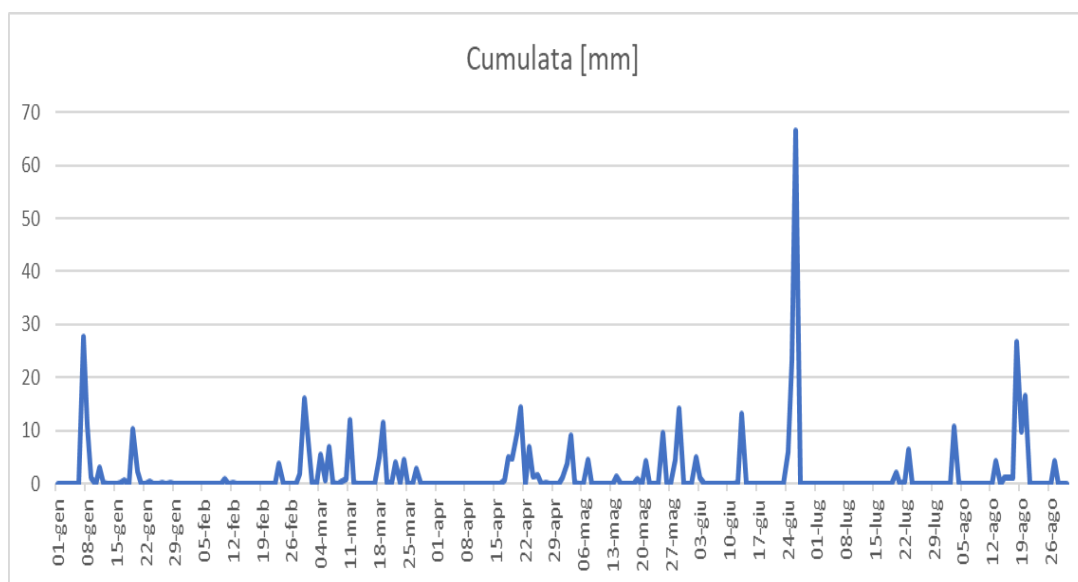


Figura 13. Precipitazioni cumulate settimanalmente anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (cod. sensore 3017)

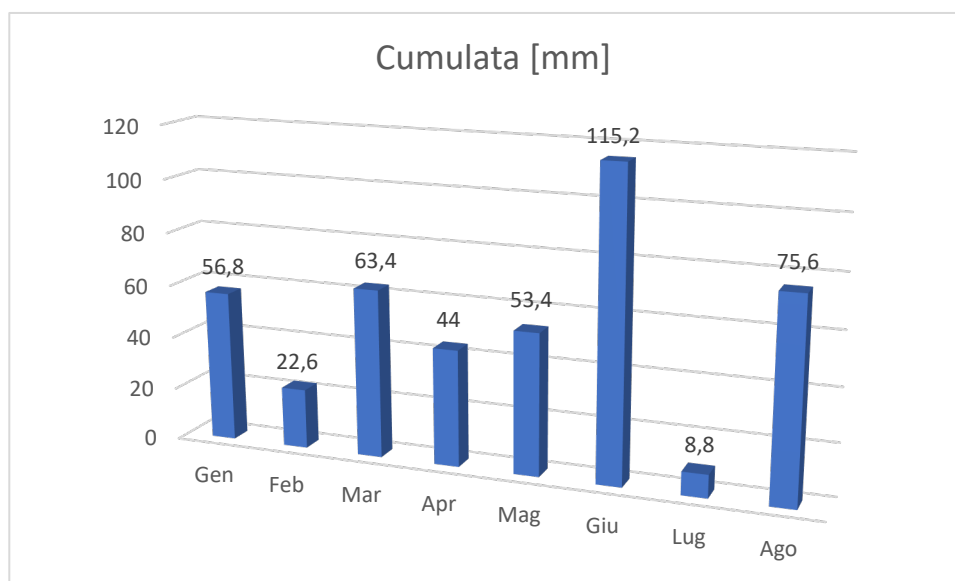


Figura 14. Precipitazioni cumulate mensilmente anno 2024 registrate da stazione Brecciarolo (cod. sensore 3017)

5.3 FOTOSINTESI E CONDUTTANZA STOMATICA

I dati e l'andamento della fotosintesi netta (P_n) sono riportati nella Tabella 8 e Figura 15, mentre i dati e l'andamento della conduttanza stomatica (g_s) sono riportati nella Tabella 9 e Figura 16.

Tabella 8. Dati e tasso di variazione (ΔP_n) della fotosintesi netta delle viti Pecorino tra controllo e irriguo.

P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	31-mag 24	17-giu 24	05-lug 24	22-lug 24	29-lug 24	26-ago 24
CONTROLLO	10,11a	10,31 a	10,19a	4,85 a	6,04 b	10,53a
IRRIGUO	9,98 a	10,01 a	10,61 a	4,99 a	7,52 a	10,40a
ΔP_n	-1,28%	-2,90%	+3,95%	+2,80%	+19,68%	-1,23%

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole

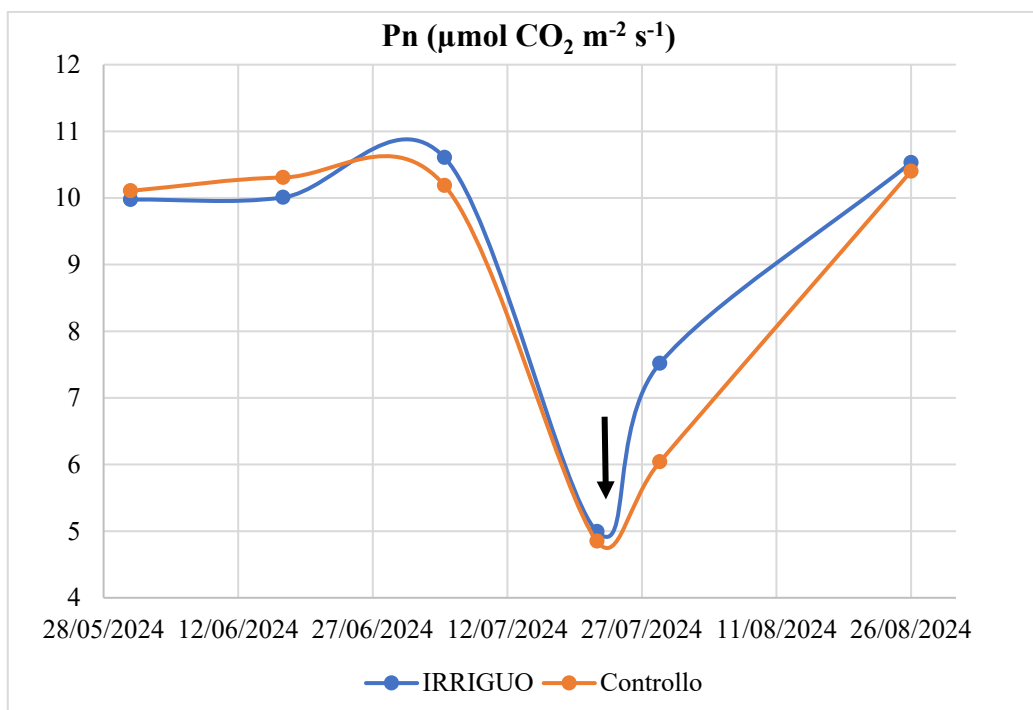


Figura 15. Andamento Pn viti Pecorino confrontati tra irriguo e controllo (Fonte: ns elaborazione) La freccia indica il momento irriguo.

Tabella 9. Dati e tasso di variazione della conduttanza stomatica (Δ gs) delle viti Pecorino tra controllo e irriguo.

gs (moli H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	31-mag 24	7-giu1 24	5-lug 24	22-lug 24	29-lug 24	26-ago 24
CONTROLLO	0,16a	0,16a	0,12a	0,07a	0,10b	0,13a
IRRIGUO	0,14b	0,15a	0,11a	0,07a	0,12a	0,12a
Δ gs	-12,5%	-6,3%	-8,33%	0%	+16,6%	-7,69%

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole

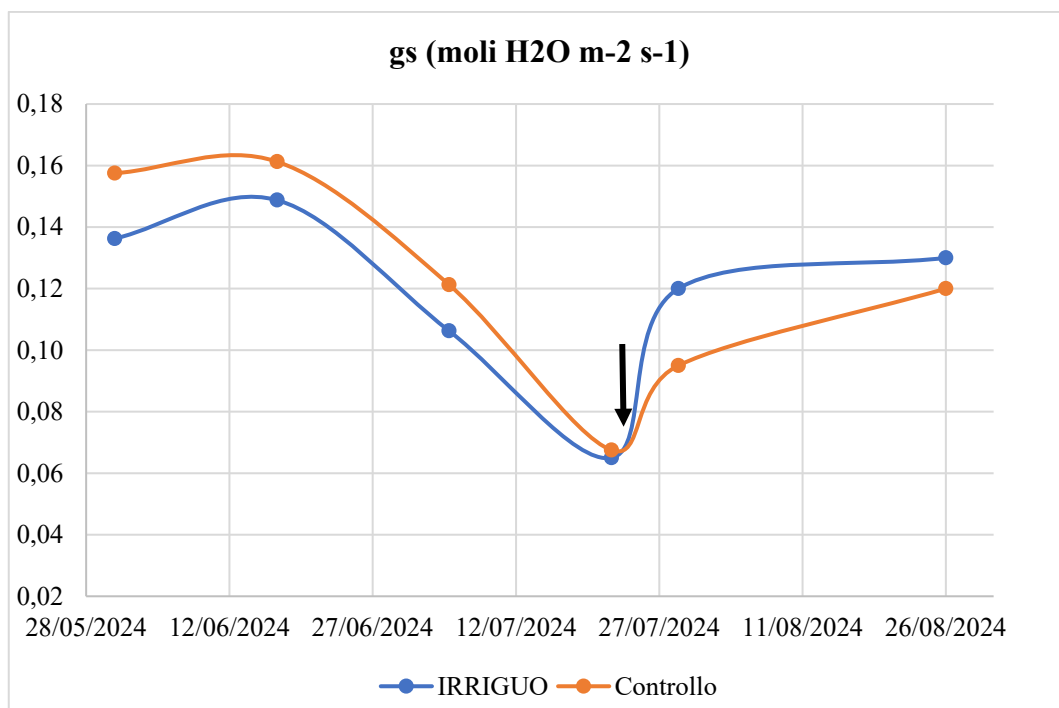


Figura 16. Andamento conduttanza stomatica viti Pecorino confrontati tra irriguo e controllo. La freccia indica il momento irriguo.

La capacità fotosintetica delle viti è risultata pressoché simile durante tutto il mese di giugno, con valori intorno a $10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, fino all'ultima decade di luglio, con un tasso di variazione in percentuale, compreso tra -1,28 a +3,95% (Tabella 8). Nel rilievo del 22 luglio, la Pn delle viti ha subito un notevole calo, raggiungendo valori poco più bassi di $5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabella 8, Figura 15), dovuto all'instaurarsi di una condizione generale di stress termico ed idrico, causato da scarsità di pioggia (25 giorni dall'ultimo evento piovoso importante) e prolungata ondata di calore di 27 giorni con temperature sopra i 30°C di cui 9 sopra i 35°C (Tabella 5). Durante il mese di giugno le temperature sono state piuttosto alte, con T medie sopra i 30° per 14 giorni e con eventi piovosi importanti nei giorni 25-26 giugno in cui sono caduti 89,8 mm, per un totale di 115,2 mm in tutto il mese (Figura 14); dopo di che non si sono più registrate importanti precipitazioni (sopra 15 mm) fino alla metà di agosto con le temperature che si sono mantenute piuttosto elevate (Figura 12). Conseguentemente, i valori di conduttanza stomatica sono risultati piuttosto modesti in entrambi i trattamenti, compresi tra 0,11 e 0,16 $\text{moli H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per tutto il periodo giugno e primi 20 giorni di luglio, in cui anche il tasso di variazione è risultato limitato, fino al rilievo del 22 luglio in cui la gs è risultata praticamente uguale nelle viti irrigue e non irrigue (Tabella 9, Figura 16). La limitazione

stomatica dovuta alle condizioni ambientali ha comportato una riduzione della g_s , abbassando i valori a $0,07 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e questo ha comportato anche il brusco calo di P_n , che si è verificato poco prima della fase di invaiatura e che ha comportato il ricorso al trattamento irriguo, basato su bassi volumi di adacquamento, pari a circa 10 l/pianta (impianto irriguo acceso per 4 ore con portata dei gocciolatori di $2,4 \text{ l/ora}$), effettuato il giorno 25/07/2024.

Nei giorni successivi al trattamento irriguo, si sono verificati eventi piovosi che hanno comportato un aumento della P_n e della g_s come mostrato nelle figure 15 e 16, caratterizzato da un tasso di variazione pari a $+19,7\%$ e $+16,6\%$, rispettivamente (Tabelle 8 e 9). Dopo l'irrigazione, la P_n delle viti irrigue ha raggiunto valori prossimi ad $8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, mentre le viti controllo sono rimaste su valori di poco superiori a $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

L'attività fotosintetica, come la conduttanza stomatica, è di nuovo aumentata verso fine agosto, quando lo stress termico si è affievolito e alcune precipitazioni ben distribuite hanno verosimilmente consentito alla pianta di ristabilire uno stato idrico favorevole. Di fatti, tra il rilievo del 29/07 e quello del 26/08 sono caduti $71,4 \text{ mm}$ di pioggia.

Nonostante il rifornimento idrico irriguo sia stato esiguo, le viti hanno mostrato una ripresa fotosintetica più veloce rispetto al controllo, confermando l'importanza dell'acqua in situazioni siccitose come quella oggetto della sperimentazione.

5.3 POTENZIALE IDRICO

Durante la stagione vegeto-produttiva 2024, è stato monitorato lo stato idrico della vite effettuando 3 campionamenti nelle date: 5/07, 22/07 e 29/07. Analogamente all'evoluzione degli scambi gassosi, il Ψ_l a mezzogiorno è risultato pari a $0,8 \text{ MPa}$ e simile tra le viti all'inizio di luglio fino al campionamento del giorno 22 (fase pre-invaiatura), quando è sceso a $-1,2 \text{ MPa}$ per le viti controllo e $1,1 \text{ MPa}$ per le irrigue (con un $\Delta\Psi_l$ pari a $8,33\%$) (Tabella 10). Tali valori in letteratura indicano l'inizio di uno stress moderato (Van Leeuwen et al. 2009), a conferma del fatto che le viti avevano iniziato a soffrire la mancanza idrica e abbassato il potenziale idrico fogliare.

Tabella 10. Dati e tasso di variazione del potenziale idrico fogliare ($\Delta\psi_f$) delle viti Pecorino tra irriguo e controllo.

ψ_f (MPa)	05-lug 24	22-lug 24	29-lug 24
CONTROLLO	-0,8a	-1,2a	-1,1a
IRRIGUO	-0,8a	-1,1a	-0,9b
$\Delta\psi_f$	0%	-8,33%	-10%

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole

La micro-irrigazione, effettuata il giorno 25/7, ha portato ad un aumento di ψ_f che ha raggiunto valori medi di -0,9 Mpa, corrispondente ad uno stress leggero, mentre le viti controllo avevano aumentato il potenziale idrico, raggiungendo valori pari a -1,1 Mpa (Tabella 10), grazie anche agli eventi piovosi che si sono verificati dall'intervento irriguo al campionamento (Figura 13). Un effetto positivo di bassi volumi di irrigazione sulle prestazioni fotosintetiche delle foglie mediane del Pecorino, è stato evidente anche in una stagione con precipitazioni relativamente abbondanti.

5.4 PRODUZIONE PENDENTE

Alla vendemmia, le viti irrigue hanno mostrato un minor numero dei grappoli che sono risultati più pesanti, probabilmente per un aumentato peso medio degli acini, pertanto, le produzioni sono risultate simili (Tabella 11).

Tabella 11. Produzione e parametri produttivi delle viti di Pecorino irrigate e asciutte nell'anno 2024.

	C	I
prod./vite (kg)	3,8 a	3,6 a
grapp./vite (No.)	17a	15b
Pmg (gr)	222b	235a
PMA (gr)	1,64a	1,72a

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole

5.5 COMPOSIZIONE DELLE UVE ALLA VENDEMMIA

La concentrazione zuccherina delle bacche controllo è risultata superiore di circa 0,6 °Brix (Tabella12) Questo parametro è molto importante in quanto strettamente influenzante il grado alcolico del futuro vino, seppur limitata, questa differenza in solidi solubili, potrebbe significare anche mezzo grado alcolico in meno nei vini ottenuti dalle uve irrigue.

L'altro parametro fondamentale per i successivi obiettivi enologici è raffigurato dall'acidità titolabile (espressa in g/L di acido tartarico) che, soprattutto nelle uve bianche come il Pecorino, è fondamentale preservare al meglio in fase di maturazione per garantire una maggiore freschezza e longevità nei vini. L'acidità è risultata bassa in entrambe le tesi, valori poco sopra 5 g/L questo probabilmente è dovuto alla veloce degradazione dell'acido malico dovuta alle alte temperature che si sono verificate durante il mese di agosto corrispondente alla maturazione dei grappoli. Gli acini delle viti irrigate hanno mostrato, comunque, un'acidità alla vendemmia leggermente più alta di 0,16 g/L (Tabella 12).

Tabella 12. Parametri compositivi delle uve alla vendemmia nelle viti di Pecorino irrigate e asciutte nell'anno 2024.

	C	I
Concentrazione zuccherina (°Brix)	23,1a	22,5a
Acidità titolabile (g/L)	5,02a	5,18a
pH	3,64a	3,65a

Le differenze significative rilevate con il Student-Newman-Keuls test ($p=0,05$) per ciascun parametro di ogni riga, sono indicate con le lettere minuscole

CONCLUSIONI

La pratica irrigua, anche con bassi volumi, è risultata un'ottima soluzione per mitigare gli effetti del cambiamento climatico. Lunghi periodi di siccità con temperature che oltrepassano anche i 35°C durante la stagione estiva, sono fenomeni che ricorrono sempre più, con effetti sempre più gravi nelle regioni meridionali, mettendo in notevole difficoltà le piante, in particolare le viti. Come si è potuto constatare dalla sperimentazione le attività fisiologiche hanno avuto un andamento negativo, in particolare sia fotosintesi netta che conduttanza stomatica hanno raggiunto i minimi sino al giorno interessato dalla pratica irrigua (25/7/24). Successivamente i valori interessati subiscono un rialzo cercando di ristabilire sia il potenziale idrico che le attività assimilative. Anche le viti controllo subiscono un rialzo dei parametri, in minor misura, per via delle piogge verificatesi in agosto.

Risultati anch'essi diversi, si sono ottenuti confrontando i dati relativi alla produzione sia quantitativa che qualitativa. Riguardo le viti irrigate si constata un minor numero di grappoli che si rivelano avere un maggior peso per via di acini di maggiori dimensioni.

Sommariamente come produzione per pianta, emergono valori sovrapponibili, ma se valutati in relazione ad una vendemmia manuale può essere vantaggioso, in termini di tempo necessario, raccogliere un minor numero di grappoli con peso e dimensioni maggiori.

Tuttavia grappoli più compatti possono permettere un maggior sviluppo di malattie fungine e insetti carpo-fagi.

In quanto alla composizione delle uve, sono risultati una minor concentrazione zuccherina delle viti irrigate e una maggiore acidità rispetto alle viti controllo. Questo conferisce maggior freschezza al vino che si otterrà. Un vino con un modesto tenore di alcol rispecchia le attuali e future tendenze di mercato, riuscendo quindi a porre il prodotto enologico su segmenti nuovi che permangono nel tempo.

Un vitigno aromatico come il Pecorino, può donare un vino aromatico con basso grado alcolico e un'acidità consistente divenendo un vino base per la spumantizzazione, utile per ampliare l'offerta dei prodotti enologici che un'azienda vitivinicola può fornire.

Complessivamente la pratica irrigua è consigliata ove possibile, soprattutto in terreni secchi e asciutti ma conferisce notevoli benefici anche in terreni argillosi, in quanto l'impianto può

essere attivato in caso di lunghe siccità in relazione alla disponibilità di acqua nel terreno e al carico produttivo.

L'irrigazione a goccia, il quale risulta essere il più efficiente ed automatizzato, come già descritto, comporta onerosi costi d'investimento ed è dipendente dalla presenza di pozzi e quindi falde artesiane o condotte idriche forzate pubbliche. Constatata la reale necessità, in base alla zona, al tipo di terreno, al portinnesto-nesto più o meno resistente alla siccità, alla resa obiettivo e al prodotto enologico che si vuole ottenere, si rivela essere una delle soluzioni più valide sia per l'effetto nel medio termine sia in termini economici nel lungo termine.

BIBLIOGRAFIA

- Brunetti M., Maugeri M. (2018). Ricostruzione e Analisi dei cambiamenti climatici in Italia: Dalla ricerca scientifica ai servizi climatici - In: L'ACQUA. - ISSN 1125-1255. - 2018:2, pp. 13-22.
- Cardell, M.F., A. Amengual and R. Romero, (2019): Future effects of climate change on the suitability of wine grape production across Europe. *Reg. Environ. Change*, 19(8), 2299– 2310
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., Gaudillere J.P. 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 87, 477-483.
- Cook, B., Wolkovich, E. (2016). Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France. *Nature Clim Change* 6, 715–719. <https://doi.org/10.1038/nclimate2960>
- De Orduna, R.M. (2010). Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Int. Food Res. J.* 43, 1844–1855.
- Droulia, F., Charalampopoulos, I. (2022). A Review on the Observed Climate Change in Europe and Its Impacts on Viticulture. *Atmosphere*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/atmos13050837>
- Georgieva, K.; Tsonev, T.; Velikova, V.; Yordanov, I. (2000) Photosynthetic activity during high temperature treatment of pea plants. *J. Plant Physiol.*, pp. 157, 169–176.
- Gershenzon, J., Dudareva, N. (2007). The function of terpene natural products in the natural world. *Nat Chem Biol* 3 , 408–414. <https://doi.org/10.1038/nchembio.2007.5>
- Harris, I., Osborn, T.J., Jones, P. et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Sci Data* 7, 109 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
- Jackson, D.I., Lombard, P.B., (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44. 409-430.

- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K., (2005). Climate change and global wine quality. *Clim. Change* 73,319-343.
- Ju, Y.L.; Yue, X.F.; Zhao, X.F.; Zhao, H.; Fang, Y.L. (2018) Physiological, micro-morphological and metabolomic analysis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) leaf of plants under water stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 130, 501–510.
- Koufos, G.C., T. Mavromatis, S. Koundouras and G.V. Jones, (2020): Adaptive capacity of winegrape varieties cultivated in Greece to climate change. *Curr. Trends Future Proj.*, 1201–1219
- Lobos, G.A.; Acevedo-Opazo, C.; Guajardo-Moreno, A.; Valdés-Gómez, H.; Taylor, J.A.; Laurie, V.F. (2015). Effects of kaolin-based particle film and fruit zone netting on Cabernet Sauvignon grapevine physiology and fruit quality. *OENO One*, 49, 137–144.
- Palliotti, A., Poni, S., Silvestroni, O. (2018) *Manuale di Viticoltura*, 317-333. Edagricole. ISBN 978-88-506-5533-5
- Palliotti, Tombesi, Silvestroni, Lanari, Gatti, Poni, (2014). Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, pp. 43–54.
- Patakas, A., Noitsakis, B., Chouzouri, A., (2005). Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 106: 253-259.
- Sadras, Vo e Moran, Ma (2012) Elevated temperature decouples anthocyanins and sugars in berries of Shiraz and Cabernet Franc. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18: 115-122. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2012.00180.x>
- Schwankl L, Prichard T, Hanson B, Wellman I. (1999). Costs of pressurized orchard irrigation vary with system design. *Hilgardia* 53(5):14-20. DOI:10.3733/ca.v053n05p14
- Schwankl, L., B. Hanson, and T. Prichard. (1995). *Micro-irrigation for trees and vines*. Davis: University of California Department of Land, Air, and Water Resources/Division of Agricultural and Natural Resources. Publication 3378.

Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T. and Palliotti, A. (2018) Delaying winter pruning, after pre-pruning, alters budburst, leaf area, photosynthesis, yield and berry composition in Sangiovese (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 24, 478– 486.

Silvestroni, O., Lanari, V., Lattanzi, T., Dottori E., Palliotti, A. (2020). Effects of antitranspirant di-1-p-menthene, sprayed post-veraison, on berry ripening of Sangiovese grapevines with different crop loads. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 26, 363– 371.

Tenuta Cocci Grifoni, (2015). Pecorino. Scoprire degustare e abbinare un grande vino Italiano pp 10-14

Teslic N., R.A. (2019). *Vitis vinifera* facing climate change. *INFOWINE*, 11(1), 1-5

Torres, N., Martinez-Lüscher, J., Porte, E., and Kurtural, S. K. (2020). Optimal ranges and thresholds of grape berry solar radiation for flavonoid biosynthesis in warm climates. *Front. Plant Sci.* 11:931.

Van Leeuwen, C., e Darriet, P. (2016). The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11 (1), 150–167. doi:10.1017/jwe.2015.21

Van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D., & Gaudillère, J.-P. (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. *OENO One*, 43(3), 121–134. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2009.43.3.798>

Williams, LE (2001). Irrigation of winegrapes in California. *Practical Winery & Vineyard*, 23 (1), 42-55.

SITOGRAFIA

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

<https://www.greenpeace.org/italy/>

<https://www.isprambiente.gov.it/>

<http://www.viten.net/tags/stress-idrico>

<http://www.agronotizie.imagelinenetwork.com>

<https://www.acquafertagri.it/irrigazione-agricola/microirrigazione-a-goccia/>

www.googlemaps.com

www.vivairauscedo.com

<https://www.pmsinstrument.com/>

<https://www.adc.co.uk/>

https://www.tenutacoccigrifoni.it/wp-content/uploads/2023/01/pecorino_libro.pdf